

EVOLUTION DE LA VÉGÉTATION ET DE LA FLORAISON DE L'EDELWEISS (*LEONTOPODIUM ALPINUM*) DANS DEUX PELOUSES ALPINES DU VAL FERRET (VS) - PÉRIODE 2008 - 2013

ROLAND KELLER & PASCAL VITTOZ

Bull. Murith. 131 / 2013 (2014) : 7-25

(RK) Ch. de Primerose 6,
CH- 1007 Lausanne
rkeller_lausanne@yahoo.fr

(PV) Université de Lausanne, Département d'écologie et d'évolution (DEE), Faculté de biologie et médecine, Bâtiment Biophore, CH- 1015 Lausanne & Université de Lausanne, Faculté des géosciences et de l'environnement, CH- 1015 Lausanne
pascal.vittoz@unil.ch

Cet article présente un bilan du changement de la végétation et de la floraison de l'edelweiss au terme de la période 2008-2013 sur deux sites d'études du haut du Val Ferret (Arpalle et Dotse). En 2008, des relevés phytosociologiques (listes complètes des espèces et estimation du recouvrement) ont été effectués sur 40 placettes permanentes dans chacun des deux sites d'études (KELLER & VITTOZ 2010). La moitié des placettes ont été protégées de la pâture des moutons (exclos). Les inflorescences de l'edelweiss (*Leontopodium alpinum*) ont été dénombrées chaque année et, en 2013, une seconde série de relevés a été réalisée sur les mêmes placettes. La floraison de l'edelweiss a diminué dans les exclos des deux sites et dans le témoin de l'Arpalle. Parallèlement à la diminution de la floraison de l'edelweiss, on observe une diminution du recouvrement de Dicotylédones à fleurs voyantes (*Myosotis alpestris*, *Hedysarum hedysaroides*, *Helianthemum nummularium* ssp. *grandiflorum*) au cours de la période d'observation. La séslerie a augmenté dans de nombreuses placettes des exclos, mais la différence n'est pas statistiquement significative avec les placettes témoins, et il n'y a pas de corrélation entre le recouvrement de la séslerie et la floraison de l'edelweiss. Nos résultats ne permettent pas d'attribuer avec certitude les changements observés à la pâture. Par contre, les changements climatiques peuvent expliquer une partie des changements, compte tenu de l'augmentation moyenne de l'indice écologique de Landolt T (significatif à l'Arpalle), l'apparition d'espèces de l'étage subalpin dans certaines placettes

Mots clés:

Compétition, dynamique, floraison, *Sesleria caerulea*, graminées, pâturage, moutons, Alpes, réchauffement climatique, environnement, Valais, Val Ferret, *Leontopodium alpinum*.

Schlüsselworte:

Wettbewerb, Dynamik, Blüte, *Sesleria caerulea* (Kalk - Blaugras), Süßgräser, Alpweide, Schafe, Alpen, Klimaerwärmung, Umwelt, Wallis, Val Ferret, *Leontopodium alpinum* (Edelweiss).

(*Rhododendron ferrugineum*, *Arctostaphylos uva-ursi*) et le développement d'autres à large amplitude altitudinale (*Vaccinium vitis-idaea*, *Sesleria caerulea*). Un changement dans le mode de gestion des troupeaux, dans un sens comme dans l'autre, devrait se faire avec précaution et surtout ne pas amplifier l'impact des changements climatiques, poussant déjà les espèces vers des altitudes plus élevées.

Entwicklung der Vegetation und der Blüte des Edelweiss (*Leontopodium alpinum*) in zwei alpinen Rasen des Val Ferret (VS)-Periode 2008-2013

In diesem Artikel werden die Veränderungen der Vegetation und der Blüte des Edelweisses beschrieben, die am Ende der Periode 2008-2013 auf zwei Testflächen im oberen Val Ferret (Arpalle und Dotse) festzustellen waren.

An den zwei Standorten wurden 2008 phytosoziologische Aufnahmen von vierzig permanenten Probeflächen gemacht (KELLER & VITTOZ 2010). Während dieser Periode war die Hälfte der Flächen geschützt vor Schafbeweidung, die andere Hälfte diente als Zeigerflächen. Die Blütenstände wurden

jedes Jahr gezählt und 2013 wurde eine zweite Serie von phytosoziologischen Aufnahmen an denselben Standorten gemacht. Die Blüte der Edelweisse nahm auf den geschützten Flächen beider Orte und der Zeigerfläche von Arpalle ab. Es wurde gleichzeitig eine Abnahme des Deckungsgrades der Dikotyledonen mit auffallenden Blüten während dieser Periode beobachtet. Auf zahlreichen geschützten Flächen nahm die Seslerie zu, die Zunahme ist jedoch statistisch nicht signifikant mit den Zeigerflächen, es besteht auch keine Korrelation zwischen dem Deckungsgrad der Seslerie und der Blüte des Edelweisses. Unsere Ergebnisse erlauben es nicht diese beobachteten Veränderungen mit Sicherheit der Schafbeweidung zuzuschreiben. Der Klimawandel kann diese Veränderungen jedoch teilweise erklären (unter Berücksichtigung der mittleren Zunahme des ökologischen Index T von Landolt (signifikant für Arpalle)), ebenso das Erscheinen von Arten der subalpinen Etage in gewissen Flächen und die Entwicklung anderer Arten mit breiter Höhenamplitude. Wenn Änderungen in der Herdenhaltung vorgenommen würden, sollten diese mit Vorsicht geschehen, um die Auswirkungen des Klimawechsels, durch den bereits Arten in höhere Lagen verdrängt werden, nicht noch zu verstärken.

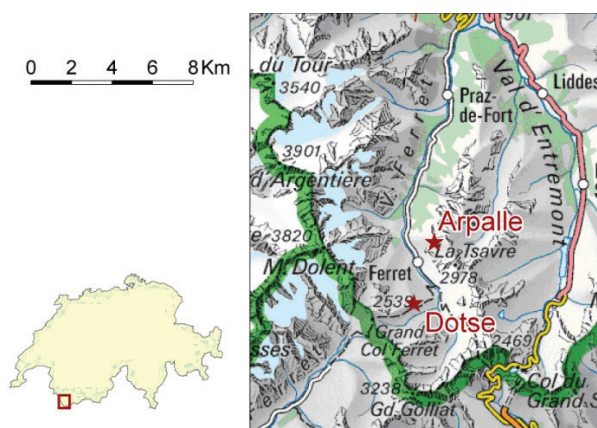


Figure 1. Localisation des deux sites d'étude, la Dotse et l'Arpalle de la Fouly, dans le Val Ferret. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA14082).

INTRODUCTION

L'edelweiss (*Leontopodium alpinum* Cassini) est certainement, avec les gentianes bleues, une des espèces les plus emblématiques des Alpes. Cependant, cette espèce n'a que peu été étudiée du point de vue de ses préférences écologiques. Elle est considérée comme menacée et protégée dans certains cantons (voir REY & al. 2011 et www.infoflora.ch), beaucoup de travaux se sont intéressés à ses propriétés pharmacologiques mais peu concernent son écologie ou la dynamique de ses populations et, à notre connaissance, aucun suivi n'existe pour mieux connaître l'évolution de ses populations.

Dans le but de mieux connaître cette espèce, des placettes d'étude ont été mises en place en 2008 sur deux sites du Val Ferret (**Fig. 1**), avec exclusion de la pâture par les moutons dans la moitié des surfaces d'étude. Les résultats des premiers inventaires floristiques complets et la répartition de l'edelweiss en relation avec les caractéristiques écologiques ont été publiés par KELLER & VITTOZ (2010). Depuis, des inventaires annuels ont été réalisés, une étude à l'échelle de la Suisse a été réalisée pour mieux connaître les préférences écologiques de l'espèce (ISCHER & al. 2014) et la dynamique des populations, en relation avec la morphologie et la reproduction végétative, a été décrite en détails (KELLER & VITTOZ, soumis).

Parmi les paramètres regroupés sous le terme générique de changements globaux, deux sont particulièrement susceptibles d'affecter une espèce comme l'edelweiss à l'étage alpin (SALA & al. 2000): les changements d'utilisation du territoire et les changements climatiques. En effet, l'utilisation des alpages tend à évoluer vers un abandon (déprise agricole) ou à une augmentation de la pâture, en particulier par les moutons dont le nombre a passablement augmenté ces dernières décennies (FSO 2010). Mais à notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée aux effets potentiels de cette pâture sur de petites espèces comme l'edelweiss. Par contre, les effets des changements climatiques sur la végétation alpine sont beaucoup mieux connus (voir synthèses de THEURILLAT & GUISAN 2001, VITTOZ & al. 2011). A très haute altitude (2800-3400 m), le nombre d'espèces de plantes augmente fortement depuis 1900 sur les sommets alpins (par ex. WALTHER & al. 2005, VITTOZ & al. 2006, 2009a). Une telle évolution a pu être observée à l'échelle européenne en l'espace de sept ans (PAULI & al. 2012). A l'étage alpin, les changements semblent moins rapides, avec colonisation de nouvelles espèces mais surtout augmentation en fréquence des espèces alpines à floraison tardive (KUDERNATSCH & al. 2005). Par contre, plus bas, à l'étage subalpin, les changements d'utilisation des alpages, en

particulier la déprise agricole, influencent actuellement plus la composition floristique que les changements climatiques (VITTOZ & al. 2009b).

Après cinq ans de suivi des parcelles du Val Ferret, cet article vise à faire le point sur les changements observés, en complément aux rapports intermédiaires déposés au Service des Forêts et du Paysage du canton du Valais (KELLER 2012, 2013). Les questions sont les suivantes: (1) Comment les populations d'edelweiss ont-elles évolué au Val Ferret entre 2008 et 2013? (2) Comment la composition floristique a-t-elle changé durant la même période, en particulier dans les surfaces exclues du pâturage? (3) Quels facteurs écologiques semblent prépondérants pour expliquer les changements observés? (4) L'exclusion des moutons dans les parcelles clôturées aurait-il, dans le contexte présent, une influence sur la végétation ou sur les populations d'edelweiss?

ENVIRONNEMENT DES SITES D'ÉTUDE DE L'ARPALLE DE LA FOULY ET DE LA DOTSE

Les aspects climatiques et géologiques et géographiques des sites d'étude ont déjà été exposés par KELLER & VITTOZ (2010) et sont rappelés ici.

L'edelweiss a une distribution plutôt réduite dans le Val Ferret. La population connue la plus grande se trouve en dessus de l'Arpalle de la Foully, le long du chemin menant au col du Basset. Les edelweiss sont limités à une bande longeant l'arête, large d'une cinquantaine de mètre. Plus au sud, l'ombre projetée par la Tsavre est probablement déjà trop importante pour permettre l'installation de l'espèce sur des pentes exposées au sud-ouest. A la Dotse (sommets, 2491 m), l'aire est beaucoup plus petite, la roche ne devenant calcaire qu'à partir de 2400 m environ. Il existe

encore quelques petites populations près des Trois Lacs et sur les versants du Ban Darray (secteur du Six Blanc et vires de Luis Reguettes) et, d'après des témoignages, dans le haut de l'arête des Econduits. Quant aux versants ensoleillés mais inaccessibles de la Tsavre, ils doivent très probablement abriter de belles populations d'edelweiss.

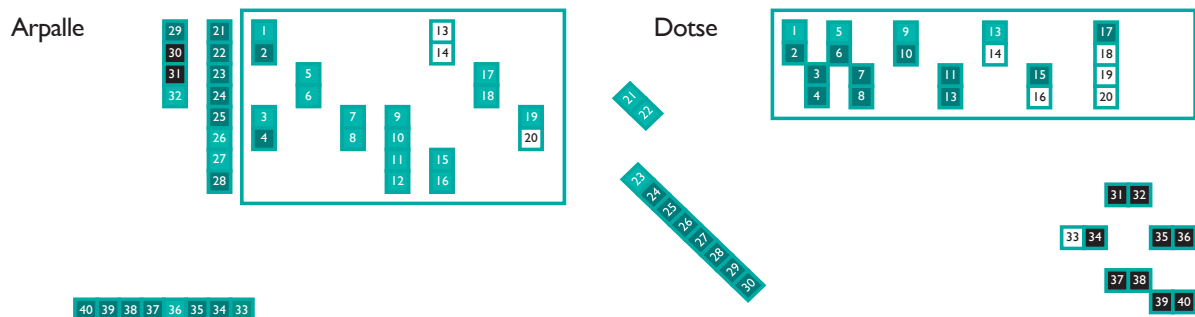
Selon BURRI & MARRO (1993) et OULIANOFF & TRÜMPY (1958), le Val Ferret est inclus dans le socle cristallin du Mont-Blanc et des nappes helvétique-ultrahelvétique et pennique. A la hauteur de Ferret, un profil ouest-est montre des granites (massif du Mont Dolent), des calcaires marneux, des schistes argileux et des calcaires détritiques (combe des Fonds) ou des grès, calcschistes, schistes noirs et quartzites (voisinages de la Drance et versants de la rive droite jusqu'au Tsavre, y compris les deux sites choisis pour l'étude). A cause de l'extrême rareté des fossiles, l'âge des terrains, datant du Crétacé, n'est pas établi avec certitude (OULIANOFF & TRÜMPY 1958).

Le site d'étude de l'Arpalle de la Fouly se trouve à mi-pente sur le versant de la rive droite de la vallée, droit en dessus de la Fouly. Le versant est limité dans sa partie supérieure par la crête allant du Mont de La Fouly à la Tsavre, deux sommets reliés par le col du Basset (2765 m). Le secteur accuse une pente de plus de 30° avec de légères dépressions allongées dans le sens de la pente, ce qui permet à une flore plus xérophile de coloniser les parties surélevées. La parcelle se trouve à une altitude moyenne de 2365 m,

avec une exposition variant entre sud-sud-ouest et ouest. Elle repose sur un sol profond, au pH variant de 6,1 à 7,2, contenant une part importante de squelette sous la forme de plaquettes de calcschistes. Les fragments de quartz ne sont pas rares, ce qui montre l'origine bréchique de la roche (conglomérats provenant de sédimentations côtières).

Le site d'étude de la Dotse se trouve en bordure de crête, à une altitude moyenne de 2480 m, (~10 m sous le sommet) en exposition sud-sud-est à est-sud-est. Le site accuse une pente de 10-20° et repose sur la série inférieure des schistes de Ferret à calcschistes et schistes argileux. Bien que les cartes de BURRI & MARRO (1993) et d'OULIANOFF & TRÜMPY (1958) n'adoptent pas exactement la même nomenclature, la ressemblance entre les plaquettes de calcschistes de l'Arpalle et de la Dotse est frappante et l'on se trouve probablement dans la même couche géologique. Le sol est profond d'au moins 50 cm, probablement plus de 80 cm par endroits, et, sauf près de la crête, contient beaucoup moins d'éléments grossiers qu'à l'Arpalle ce qui permet une décarbonatation plus rapide (pH s'abaissant jusqu'à 5,3) et entraîne la formation d'une végétation comportant en partie des espèces acidophiles.

Figure 2. Localisation des placettes (numérotées de 1 à 40) dans les deux sites d'étude. Les différentes couleurs correspondent à leur répartition en quatre groupes sur la base de leur composition floristique: groupes 1, vert clair; 2, vert; 3, blanc; 4, noir. Pour la Dotse, les placettes 33 à 40 sont situées en réalité plus en haut et à droite.



Les deux sites sont très venteux et, bien qu'étant plus éloigné du Grand col de Ferret (frontière Suisse-Italie), le site de l'Arpalle connaît des vents particulièrement forts, vents probablement amplifiés par un effet Venturi qui proviendrait du resserrement des versants.

RAPPEL DE QUELQUES RÉSULTATS OBTENUS EN 2008

Ces paragraphes résument les principaux résultats publiés précédemment (KELLER & VITTOZ 2010). La biodiversité en plantes vasculaires était comparable sur les 40 m² relevés dans chacun des deux sites : 62 espèces à l'Arpalle et 69 espèces à la Dotse, pour un total de 89 espèces. Les deux sites partageaient en commun la moitié des espèces, soit 44 exactement. Sur la base des analyses, quatre groupes par site ont été retenus. La **Fig. 2** représente schématiquement les relevés sur le terrain en fonction des groupes auxquels ils appartenaient.

a) Arpalle. Les groupes 1 et 2 de l'Arpalle sont situés sur de légères surélévations du terrain, le groupe 3 est couvert d'une végétation à tendance forestière et le groupe 4 est caractérisé par une forte dominance des graminées.

b) Dotse. Le groupe 1 se trouve à proximité de la crête et connaît une importante érosion éolienne ce qui entraîne l'apparition de surfaces dépourvues de végétation, avec un pH du sol avoisinant 8. Le groupe 3 a une flore un peu moins basophile que le 2 et le groupe 4 est caractérisé par une végétation acidophile (pH du sol proche de 5.5).

c) La biodiversité moyenne par placette était légèrement plus élevée à la Dotse (20.4 espèces) qu'à l'Arpalle (18.3 espèces). Les groupes les plus riches étaient aussi ceux qui contenaient le plus d'edelweiss. Mais le groupe 1 de la Dotse, riche en edelweiss, avait une biodiversité plus basse à cause du stress dû à l'effet sommital.

d) Tous les groupes appartenaient assez clairement au *Seslerio-Caricetum sempervirentis* (fait partie du *Seslerion*, ou pelouses calcaires sèches à séslerie, selon DELARZE & GONSETH 2008). A l'Arpalle (**Fig. 2**), le groupe 4 en était une variante appauvrie (forte densité de grandes graminées) et le groupe 3, situé dans une dépression, tirait vers les friches et lisières forestières. A la Dotse (**Fig. 2**), le groupe 1 montrait une tendance vers l'*Elynion* (ou gazons des crêtes ventées), correspondant bien à la situation de crête des parcelles de ce groupe. Les groupes 2 à 4 tendaient nettement vers les pelouses subalpines et alpines sur sol acide, comme le *Nardion* (pâturages maigres acides) et le *Caricion curvulae* (pelouses acides de l'étage alpin supérieur). Néanmoins, les espèces de sol acide, bien que fréquentes, y étaient moins abondantes que celles des pelouses calcaires.

e) Les indices écologiques de Landolt montraient que les sols de l'Arpalle avaient un pH plus élevé, étaient plus humides, plus riches en substances nutritives mais moins riches en humus que ceux de la Dotse. Ces variations de l'indice d'acidité étaient corroborées par les analyses d'échantillons de sol.

MÉTHODES

Sur chaque site, une parcelle (exclos) a été entourée d'une clôture électrifiée pendant la saison d'estivage dans le but de soustraire la végétation à l'influence des moutons. Une autre zone d'observation a été choisie en dehors de l'exclos mais dans son voisinage immédiat. Susceptible d'être pâturée, elle a servi de témoin.

Les deux sites ont fait l'objet des mêmes types d'observations et des mêmes traitements statistiques. Vingt placettes de 1 m² dans l'exclos et vingt identiques à proximité, dans la zone témoin, ont été marquées pour effectuer les observations phytosociologiques,

les mesures de paramètres environnementaux, le dénombrement des rosettes foliaires d'edelweiss et le suivi détaillé des colonies. Celles-ci font l'objet des mêmes mesures et observations. Les deux sites diffèrent néanmoins sur quelques points:

- L'exclos de la Dotse a une topographie plus régulière que celui de l'Arpalle, marqué par les vallonnements. La distribution des placettes s'est donc faite à l'Arpalle de manière à avoir une répartition équitable entre bosses (riches en edelweiss) et creux (très pauvres en edelweiss). A la Dotse, l'exclos est partagé entre une partie en situation de crête exposée au vent et à sol très calcaire, où la biodiversité est plus basse, et une partie en versant à biodiversité relativement élevée.
- L'exclos de l'Arpalle est nettement plus pentu que celui de la Dotse, et les observations s'y déroulent de manière beaucoup moins confortable. Des couloirs libres pour les déplacements y ont donc été retenus.

La zone témoin de la Dotse est constituée de deux parties d'égales importances: la partie située à l'ouest de l'exclos est caractérisée par un sol nettement calcaire et abrite de nombreux edelweiss, alors que la partie à l'est est couverte d'une végétation plus acidophile (pH du sol ~5.5, *Trifolium alpinum*, *Vaccinium vitis-idea* plus abondants, *Sesleria caerulea* moins abondant et edelweiss absent).

- Le témoin de l'Arpalle, à l'exception d'une petite partie où les graminées dominent fortement, est très semblable aux parties surélevées de l'exclos pour ce qui concerne le pH du sol et la composition floristique.
- A l'Arpalle, le troupeau est libre de début août à fin septembre, alors qu'à la Dotse il est gardé mais peut transiter par la zone témoin (**Fig. 8**).

RELEVÉS PHYTOSOCIOLOGIQUES

La nomenclature des espèces suit LAUBER & WAGNER (2007). Les relevés phytosociologiques sont formés d'une liste exhaustive des espèces, avec les recouvrements estimés selon une échelle approximativement logarithmique, en tenant compte uniquement des surfaces couvertes de végétation, sans le sol nu. Les groupes des mousses et lichens sont traités chacun comme un seul taxon (**Tab. 1**).

Les relevés phytosociologiques de 2008 ont été effectués pendant la première quinzaine de juillet et complétés par un passage ultérieur pour mieux définir le recouvrement des petites espèces à floraison tardive (*Gentiana nivalis*, *Erigeron* spp., *Euphrasia* spp.). En 2013, les relevés de l'Arpalle ont été effectués du 9 au 24 juillet et ceux de la Dotse du 16 au 28 juillet. La saison 2013 a été en retard d'une bonne dizaine de jours par rapport à la saison 2008. Des photos des placettes ont été réalisées chaque année au cours de la deuxième quinzaine de juillet de 2008 à 2013. Elles témoignent des variations de l'aspect que peut prendre une pelouse alpine selon les conditions climatiques.

CARTOGRAPHIE DES COLONIES

La cartographie des colonies d'edelweiss s'effectue au moyen d'un double-mètre placé perpendiculairement aux rubans de deux chevillères parallèles aux petits côtés des exclos. La forme des colonies dessinée lors de l'inventaire précédant permet de corriger les éventuelles imprécisions de mesures. Les paramètres employés pour caractériser les colonies sont: positions x et y dans le carré de 1 m², nombre de rosettes stériles, nombre de rosettes fleuries, diamètre maximal de la colonie. Cette cartographie a été effectuée chaque année de 2008 à 2011 et le dénombrement des inflorescences sur chaque placette a été poursuivi jusqu'en 2013.

EVOLUTION DE LA VÉGÉTATION

Partant du principe qu'en cinq ans les changements sont insuffisants pour observer une réorganisation des groupes observés en 2008 par KELLER & VITTOZ (2010), les analyses portent sur des variations quantitatives plutôt que qualitatives. Elles visent à comparer les recouvrements de quelques espèces ou groupes d'espèces entre le début et la fin de la période. Les groupes d'espèces retenus comportent des espèces apparentées ou/et morphologiquement comparables, comme les *Cyperaceae* (*Carex sempervirens* et *Elyna myosuroides*), les *Fabaceae* (*Anthyllis*, *Oxytropis*, *Trifolium*, etc.), les *Asteraceae*, les *Poaceae* sans *Sesleria caerulea*, cette dernière étant considérée seule étant donné son importance dans la majorité des placettes. Le reste des espèces forme un dernier groupe très hétérogène.

Le dispositif expérimental reposant sur l'existence d'exclos et de zones témoins a été avant tout destiné à étudier une éventuelle influence de la pâture et aussi à protéger les secteurs dédiés à des études démographiques de l'edelweiss. Cependant, la classification de la végétation en groupes permet d'étudier la variation d'abondance d'une espèce, ou d'un groupe d'espèces, au niveau de communautés écologiquement et floristiquement plus homogènes.

DIFFICULTÉS TAXONOMIQUES

Suite à la confusion régulière en 2008 entre *Agrostis alpina* et *Festuca quadriflora* à l'état végétatif, ces deux espèces ont été réunies en un seul taxon pour les analyses, profitant de leurs caractéristiques écologiques (indices selon LANDOLT & al. 2010) très semblables.

TRANSFORMATION DES RECOUVREMENTS

Afin de tenir compte de la non linéarité de l'échelle de recouvrement, nous avons calculé la moyenne géométrique des bornes des intervalles donnés dans le **Tab. 1**. Ainsi l'indice 6 est remplacé par la racine carrée de 0.2×0.5 ,

soit 0.316, ce qui équivaut approximativement à 32 %. Les valeurs transformées sont données dans le **Tab. 1**. Après cette transformation, les recouvrements des espèces ont été remplacés par leur recouvrement relatif, correspondant à ramener la somme des recouvrements de chaque relevé à 100 %. Par exemple les recouvrements des espèces d'une placette pour laquelle la somme des recouvrements vaut 120 % devront tous être multipliés par $100/120$, soit 0.83. Il a en effet été montré que le recouvrement relatif est moins sensible aux variations subjectives des estimations (Gillet, comm.pers.).

INDICES ÉCOLOGIQUES DES ESPÈCES

Une communauté végétale peut être caractérisée par la moyenne des indices écologiques selon LANDOLT & al. (2010) pour l'ensemble des espèces. Ces indices de Landolt ont été établis pour estimer des variables environnementales telles que la température moyenne, la continentalité, la luminosité, l'humidité, le pH et la teneur en nutriments du sol. A chaque espèce a été attribuée une valeur de 1 à 5, correspondant à son optimum écologique sur le gradient en question. Par exemple, l'edelweiss possède une valeur de 1.5 pour la température (étage

Classe de recouvrement	Proportion de la surface végétalisée correspondante	Recouvrement utilisé dans les analyses
1	< 0.01 %	0.00005
2	0.01 à 0.1 %	0.0003
3	0.1 à 1 %	0.003
4	1 à 5 %	0.022
5	5 à 20 %	0.100
6	20 à 50 %	0.316
7	> 50 %	0.707

Tableau 1. Définition des classes utilisées pour estimer le recouvrement des espèces et valeurs de recouvrement utilisées pour les analyses.

alpin) et de 4 pour le pH du sol (sol neutre à basique). La moyenne pondérée (par le recouvrement relatif) des indices de Landolt des espèces présentes permet d'estimer ces variables environnementales pour une communauté végétale. Les analyses de KELLER & VITTOZ (2010) reposaient sur les anciens indices selon LANDOLT (1977) mais l'ensemble des analyses (2008 et 2013) ont été effectuées à partir des nouvelles valeurs (LANDOLT & *al.* 2010).

TESTS DU χ^2 , TEST DE STUDENT, ET RÉGRESSION (MULTI)LINÉAIRE

Le test du χ^2 est un test d'hypothèses sur des tableaux de contingences. Par exemple, on peut estimer si la baisse ou l'augmentation d'une variable X est significativement liée à divers traitements

expérimentaux. Le test de Student permet de comparer les moyennes de deux séries de valeurs, pour autant que les variances dans les deux séries soient à peu près égales (DAGNELIE 1975). La régression (multi) linéaire permet d'ajuster une variable (dépendante) à une (ou plusieurs) autre(s) variable(s) explicative(s) selon la méthode des moindres carrés, méthode adaptée aux cas où les variables explicatives sont contrôlées (LEGENDRE & LEGENDRE 1998). Dans le cas présent nous avons testé les relations existant entre les variations de la floraison de l'edelweiss et les variations de recouvrement de la séslerie et d'autres groupes de plantes, ainsi qu'entre la variation de la séslerie et le traitement. Tous les calculs statistiques ont été effectués avec les packages du logiciel libre R (R Development Core Team 2009).

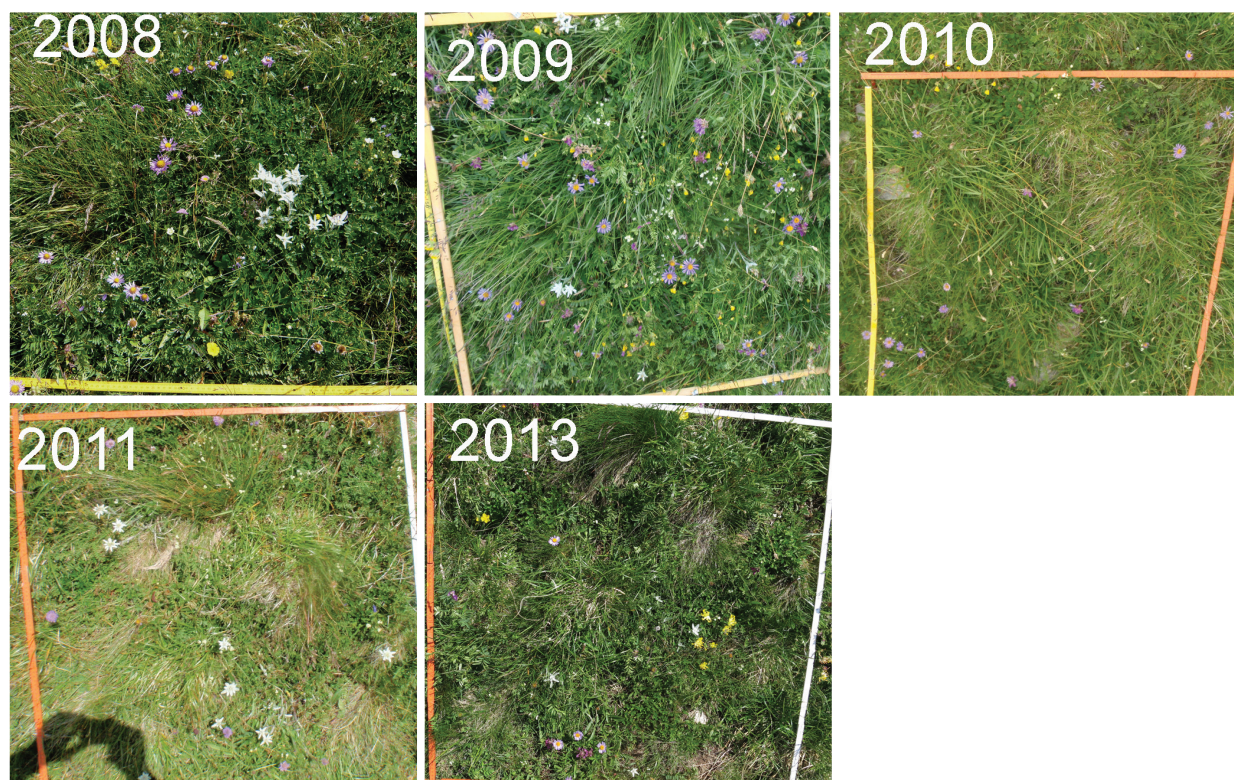


Figure 3. Placette 4b de l'Arpalle: évolution du tapis herbacé de l'exclos de 2008 à 2013.

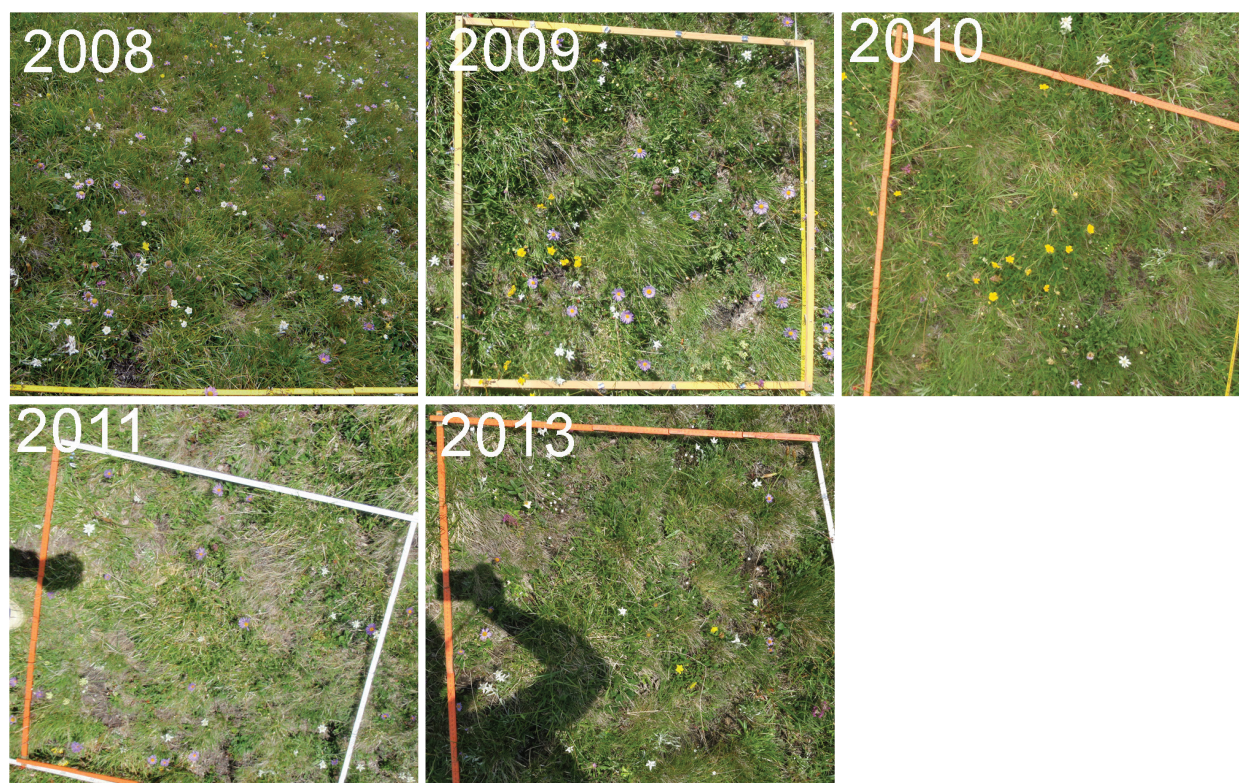


Figure 4. Placette 7b du témoin de l'Arpalle: évolution du tapis herbacé entre 2008 et 2013.

RÉSULTATS

FLORISTIQUE

Quelques nouvelles espèces sont apparues depuis 2008; à l'Arpalle, 71 espèces ont été relevées (contre 62 en 2008) et 72 espèces à la Dotse (contre 69). Sur l'ensemble des relevés, on compte 99 espèces en 2013, soit 10 de plus qu'en 2008. Certaines de ces découvertes sont probablement dues à un effet d'apprentissage (*Luzula sudetica* a probablement été confondu en 2008 avec *L. multiflora* dans le témoin de la Dotse, de même pour *Agrostis alpina* avec *Festuca quadriflora*). Mais l'apparition à l'Arpalle de *Silene vulgaris* et *Taraxacum officinale* et, à la Dotse d'*Arctostaphylos uva-ursi*, *Helianthemum nummularium* ssp. *grandiflorum* et *Rhododendron ferrugineum* (espèces ligneuses ou suffrutescentes de l'étage subalpin), pourrait être liée à l'élévation des températures moyennes.

Finalement, en 2013, *Euphrasia salisburgensis* est devenu beaucoup moins fréquent à l'Arpalle et *Gentiana nivalis* moins fréquent sur les deux sites. Ces variations de deux espèces annuelles sont probablement à mettre au compte du retard pris par la saison de végétation en 2013 ou de variations interannuelles.

Quant à l'influence que pourraient avoir les randonneurs par la cueillette des edelweiss, on peut avancer qu'elle est nulle. Parmi le petit nombre de placettes qui ont vu leur nombre d'edelweiss augmenter de 2008 à 2013, la moitié se trouvait à proximité de la croix du sommet de la Dotse, à quelques mètres de l'endroit où les randonneurs pique-niquent volontiers. On peut dès lors exclure toute prédation significative de l'edelweiss dans cette région par l'espèce humaine!



Figure 5. Végétation ouverte à la Dotse.

EVOLUTION DE LA VÉGÉTATION
DANS LES DIFFÉRENTS GROUPES
FLORISTIQUES

Premièrement, les montages photographiques (**Fig. 3 et 4**) illustrent une baisse générale de la coloration de la pelouse de l'Arpalle au cours du suivi. L'année 2010 s'est montrée particulièrement mauvaise pour la floraison de l'edelweiss et aussi pour celle d'autres Dicotylédones (*Aster alpinus*, *Helianthemum nummularium* ssp. *grandiflorum*, *Pedicularis verticillata*, *Hedysarum hedysaroides*, etc.). De plus, les séries de photos donnent l'impression que la floraison n'a jamais retrouvé l'état de 2008. A noter que les prises de vue faites à la Dotse ne montrent pas de fluctuation marquée de la floraison. La pelouse sur ce sommet est d'ailleurs caractérisée par une proportion de sol nu plus élevée et une végétation plus basse qu'à l'Arpalle (**Fig. 5**). Ces changements de l'aspect de la végétation sont à mettre en parallèle avec

Arpalle Groupes	<i>Myosotis alpestris</i>			<i>Hedysarum hedysaroides</i>			<i>Carex sempervirens</i>			<i>Helianthemum nummularium</i>			<i>Anthyllis</i> vul. <i>alpestris</i>			<i>Festuca violacea</i> aggr.			<i>Carduus defloratus</i>			<i>Geranium sylvaticum</i>			<i>Sesleria caerulea</i>			Edelweiss		
1	0	6	13	0	6	14	1	7	12	3	8	9	0	9	6	5	5	8	4	7	1	4	1	1	11	6	3	3	4	33
2	0	3	11	3	4	8	0	6	9	0	4	8	5	3	3	3	3	3	1	0	1				7	5	3	2	5	3
3	1	0	1	1	1	1	2	0	1	0	2	1				1	1	1	2	0	0	0	2	1	0	3	1			
4	0	0	2	1	1	0	0	0	2	1	1	0				2	0	0							0	0	2			

Dotse Groupes	<i>Carex sempervirens</i>			<i>Sesleria caerulea</i>			<i>Trifolium alpinum</i>			<i>Antennaria dioica</i>			<i>Thymus polytrichus</i>			<i>Hieracium angustifolium</i>			<i>Aster alpinus</i>			<i>Vaccinium vitis-idea</i>			<i>Festuca violacea</i> aggr.			Edelweiss		
1	2	2	2	0	4	3				1	0	0	2	5	0	2	1	0	1	6	0	1	0	0	2	0	0	2	4	1
2	0	6	12	9	8	1	3	0	3	1	0	0	6	8	5	5	4	7	6	8	2	6	7	1	7	4	0	6	9	3
3	2	2	2	2	2	0	2	3	1	7	6	4	2	3	1	4	0	0	0	2	1	4	0	0	1	2	2	1	0	0
4	1	4	4	1	3	1	1	5	3	3	3	0	1	8	0	2	4	3	3	1	1	4	2	3	4	0	0			

Tableau 2. Variations de quelques espèces importantes au cours de la période 2008-2013 à l'Arpalle et à la Dotse: noir et chiffre blanc, progression marquée; vert et chiffre blanc, progression modérée; vert, stabilité; bleu ciel, régression modérée; gris, régression marquée; blanc, espèce absente à la fois en 2008 et en 2013 ou présente seulement sur une placette. Les valeurs dans les cases indiquent le nombre de carrés où l'espèce progresse (1ère colonne de chaque espèce), est stable (2° colonne) ou régresse (3° colonne). *Helianthemum nummularium* = *H. nummularium* ssp. *grandiflorum*; *Thymus polytrichus* = *T. praecox* ssp. *polytrichus*.

Tendances enregistrées dans les placettes	Augmentation	Constance	Baisse	Chi²	p
Arpalle et Dotse					
Exclos	2	23	15	8.75	0.013
Témoins	12	18	10	Significatif	
Total	14	41	25		

Tableau 3. Nombres de placettes montrant une augmentation ou une baisse du nombre d'inflorescences d'edelweiss entre 2008 et 2013 selon les deux traitements considérés. Valeurs du Chi² et probabilité (p) de l'hypothèse selon le traitement (exclos ou témoin).

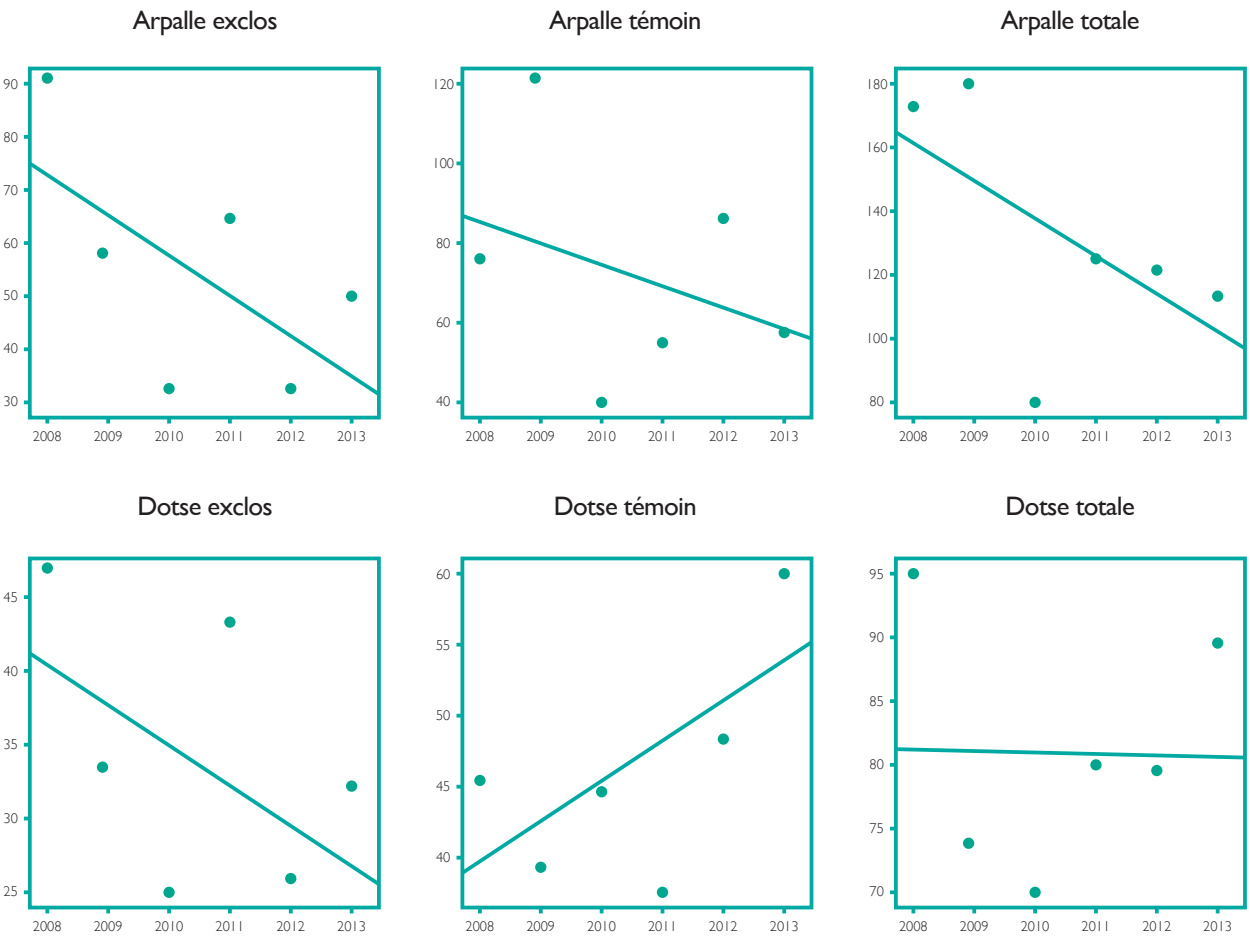


Figure 6. Variations du nombre d'inflorescences d'edelweiss au cours de la période d'observation.



Figure 7. Pâturage dégradé à une centaine de mètres à l'ouest du site d'étude de la Dotse, les touffes d'*Elyna myosuroides* ont bien subsisté.



Figure 8. Moutons paissant à la Dotse, à l'arrière plan: les Grandes Jorasses.

les analyses réalisées sur les différents groupes établis par la classification NMDS (**Tab. 2**).

Bien que les variations illustrées ne soient pas confirmées par des tests statistiques, l'ensemble illustre bien les changements survenus entre 2008 et 2013. Premièrement il faut relever les comportements inverses de *Carex sempervirens*, qui régresse, et de *Sesleria caerulea*, qui

progresses, en particulier à l'Arpalle dans les groupes xérophiles 1 et 2. Ce sont d'ailleurs ces deux derniers groupes de l'Arpalle qui voient leur végétation changer le plus, avec une diminution notable de *Myosotis alpestris*, *Hedysarum hedysaroides*, *Helianthemum nummularium* ssp. *grandiflorum* et *Anthyllis vulneraria* ssp. *alpestris*, toutes des espèces à «jolies fleurs». Ceci confirme l'impression visuelle que l'on a en regardant les **Fig. 3 et 4**.

	Arpalle R=0.134				Dotse R=0.150			
	Estimation	erreur stand.	p	p (> t)	Estimation	erreur stand.	p	p (> t)
Intercept	-0.155	0.139	-1.116	0.280	-0.098	0.101	-0.976	0.344
Asteraceae	-0.341	3.235	-0.105	0.917	1.889	1.524	1.239	0.233
Cyperaceae	0.771	0.661	1.166	0.260	0.111	0.692	0.160	0.875
Fabaceae	-0.255	0.832	-0.306	0.763	0.030	1.859	0.016	0.987
Graminées	1.585	1.316	1.204	0.245	0.806	0.935	0.862	0.401
Sesleria	0.397	1.081	0.367	0.718	-0.128	0.655	-0.195	0.848

Tableau 4. Coefficients de la régression multilinéaire entre variation de la floraison de l'edelweiss et variation du recouvrement des autres groupes d'espèces. R, coefficient de régression multiple; t, valeur statistique de l'analyse; p, probabilité d'une absence de relation linéaire. Graminées: Poaceae sauf *Sesleria*.

Tendances enregistrées dans les placettes	Augmentation	Constance	Baisse		Chi ²	p
				Total		
Exclos	18	19	3	40	6.65	0.355
Témoins	11	19	11	40	non significatif	
Total	29	37	14	80		
Exclos et témoins réunis				Total		
Arpalle	17	15	8	40	2.47	0.87
Dotse	12	22	6	40	non significatif	
Total	29	37	14	80		

Tableau 5. Nombres de placettes montrant une augmentation ou une baisse du recouvrement de la séslerie entre 2008 et 2013 selon les deux traitements considérés ou les deux sites. Valeurs du Chi² et probabilité (p) de l'hypothèse nulle selon le traitement.

On note encore la progression d'espèces relativement thermophiles ou hygrophiles: *Carduus defloratus* et *Geranium sylvaticum* à l'Arpalle; *Festuca violacea* aggr. et *Vaccinium vitis-idea* à la Dotse. L'edelweiss reste assez stable mis à part une légère progression dans le groupe 2 de la Dotse. Pour cette dernière espèce, la variation ne concerne pas seulement les rosettes fleuries mais le total des rosettes (stériles et fleuries).

FLORAISON DE L'EDELWEISS

Les variations du nombre d'inflorescences sont données dans la **Fig. 6**. De 2008 à 2013, sur l'ensemble des placettes, le nombre d'inflorescences d'edelweiss tend à baisser; excepté sur la zone témoin de la Dotse où la floraison augmente pendant la période 2008-2013. Le **Tab. 3** donne les résultats et les valeurs du Chi² et des probabilités pour le rejet de l'hypothèse nulle («floraison de l'edelweiss indépendante du traitement»), ceci pour les deux sites réunis. L'hypothèse nulle est rejetée: la floraison de l'edelweiss baisse significativement plus dans les exclos. Le résultat est identique si l'on se base sur les pentes de la variation de la floraison observée dans chaque placette (valeurs en annexe 2) de l'edelweiss plutôt que sur les variations qualitatives «hausse», «constance», «baisse».

Dans l'article précédent (KELLER & VITTOZ 2010), nous nous demandions si la nouvelle sente créée par les moutons suite à l'installation d'un exclos à l'Arpalle influençait l'edelweiss. Depuis, nous avons observé une baisse de l'abondance des rosettes d'edelweiss dans les placettes traversées par la sente ou à proximité de celle-ci (soit les Nos 33, 34 et 35 de la **Fig. 2**). Dans la zone témoin il y avait 8 placettes à edelweiss non situées sur le trajet des moutons et seulement deux de celles-ci voient leur abondance en edelweiss baisser. Toutefois l'impact du troupeau est très localisé car tout le secteur est une zone de transit pour ce dernier.

CORRÉLATIONS ENTRE FLORAISON DE L'EDELWEISS ET GROUPES D'ESPÈCES

L'examen des corrélations entre variations de la floraison de l'edelweiss et variation des abondances des différents groupes d'espèces se réalise à l'aide d'une régression multilinéaire. Les résultats sont donnés dans le **Tab. 4**. Il en ressort qu'aucune relation n'est significative entre l'edelweiss et les autres groupes de plantes, y compris la séslerie. A noter les valeurs très basses des coefficients de régression (R) qui ne sont pas significativement différents de 0. Le tableau des corrélations entre les différentes variables est donné dans l'annexe I. On constate qu'il

	T	K	L	F	R	N
Arpalle Exclos	0.048	0.060	0.003	-0.056	0.025	-0.003
Arpalle Témoin	0.042	0.087	0.003	-0.033	-0.025	0.025
Moyenne Arpalle	0.045*	0.073**	0.003	-0.044	0	0.011
Dotse Exclos	0.076	-0.025	0.012	0.025	0.021	0.001
Dotse Témoin	-0.021	-0.097	0.029	0.046	-0.026	-0.005
Moyenne Dotse	0.027	-0.061**	0.020	0.035	-0.002	-0.003

Tableau 6. Différences entre moyennes des indices de Landolt calculées à partir des relevés floristiques en 2008 et en 2013. T, température; K, continentalité; L, lumière; F, humidité du sol; R, pH du sol; N, nutriments du sol. Les variations significatives selon des tests de Student sont en gras et indiquées par * ($p < 0.05$) ou ** ($p < 0.01$).

existe des corrélations négatives relativement élevées (de l'ordre de -0.4 à -0.5) entre *Sesleria caerulea* et les autres *Poaceae*, ce qui est logique car deux groupes biologiquement semblables et à recouvrements importants sont presque toujours antagonistes.

PROGRESSION DE LA SESLÉRIE

Dans l'ensemble des placettes, la séslerie progresse deux fois plus souvent qu'elle ne régresse (58 cas contre 28) et reste pratiquement stable dans 74 cas (**Tab. 5**). La progression de la séslerie est plus forte dans les exclos que dans les témoins mais le test de χ^2 n'est pas significatif ($p = 0.355$), par conséquent la séslerie n'augmente pas plus dans les exclos que dans les surfaces témoins. Une analyse ANOVA confirme ce résultat ($p = 0.225$). Pour conclure, la forte progression de la séslerie dans l'exclos de l'Arpalle ne suffit pas à rendre le test significatif car la progression de cette graminée n'est pas suffisamment marquée dans l'exclos de la Dotse.

VARIATION DES INDICES ÉCOLOGIQUES MOYENS

Les relevés floristiques de 2008 et 2013 permettent de comparer les moyennes pondérées des indices écologiques de LANDOLT & al. (2010) (**Tab. 6**).

L'indice T s'élève sur les deux sites (+0.046 à l'Arpalle et +0.027 à la Dotse) alors que les indices L, R et N restent pratiquement inchangés et que les indices K et F varient en sens contraire d'un site à l'autre. Seules sont significatives l'augmentation de T à l'Arpalle, avec une tendance dans le même sens à la Dotse, et les variations de K dans les deux sites. Mais dans ce dernier cas, les variations sont incohérentes entre les deux sites.

EFFETS OBSERVÉS DE LA MISE EN DÉFENSE DE PARCELLES

Les deux sites sont soumis à des modes d'estivage des ovins très différents, avec un troupeau conduit par un berger à la Dotse mais gardé uniquement par un chien de protection à l'Arpalle. De ce fait le dispositif expérimental ne comprend aucune répétition et ne permet pas de faire des inférences statistiques. Cependant il est utile de rappeler quelques faits et tendances observés en relation avec le mode d'estivage.

- La floraison des edelweiss augmente dans le témoin de la Dotse, potentiellement pâturé, mais le troupeau n'y accède pratiquement jamais car le berger a presque toujours su empêcher son parcours, dans le but de préserver la flore de ce

sommet; par contre, la floraison régresse dans l'exclos, non pâturé de 2007 à 2013.

- La présence d'*Elyna myosuroides* au voisinage du sommet de la Dotse (**Fig. 7**), mais à l'écart de la zone témoin, atteste de conditions écologiques potentiellement favorables à l'edelweiss dans ce secteur. Quelques rares tiges y ont encore été observées en 2008 mais l'espèce a disparu depuis. Ce secteur a été probablement soumis à une forte pression de pâture dans la période 2000-2008. C'est en effet en 2000 ou 2001 que l'estivage des moutons a repris à la Dotse (ZAPPELLAZ 2003) et 2007 a été l'année du début de l'étude. Il est donc probable qu'à la Dotse, la présence de l'étude ait eu un effet bénéfique sur la flore en «conscientisant» l'agriculteur et le berger.
- Le troupeau a le loisir de parcourir le témoin de l'Arpalle mais ne s'y arrête que très peu pour y brouter.
- A l'Arpalle, la floraison des edelweiss régresse plus dans l'exclos (non pâturé) que dans la surface témoin (pâturée).
- Une progression de la séslierie dans les exclos n'est pas à écarter: l'évolution n'est pas significative entre exclos et témoins, mais la période d'étude reste courte pour des espèces à longue longévité et compte tenu de la croissance lente des espèces à ces altitudes. La séslierie est une plante qui n'est pas refusée par les ovins (ZAPPELLAZ 2003) et il est donc probable que l'absence de pâture favorise son développement.
- Pendant l'estivage, la grande faune évite de côtoyer le troupeau; de ce fait une modification de la végétation due à l'exclusion des chamois par la pose d'un exclos ne saurait avoir un effet quelconque.

DISCUSSION

La connaissance des rapports entre l'edelweiss et son milieu ont été les thèmes centraux de cette étude mais, comme souvent, en cherchant une chose on en trouve une autre. Dans un précédent rapport (KELLER 2012), on avait déjà l'impression qu'à l'Arpalle la pelouse prenait un aspect plus vert, moins coloré et que les conditions se dégradaient aussi pour les autres «fleurs». Les relevés floristiques de 2013 confirment cette tendance et permettent de la chiffrer. On ne peut qu'être surpris de l'ampleur des changements de la végétation en cinq ans de suivis.

Il est trop tôt pour affirmer que l'évolution de la végétation se poursuivra à la même vitesse et dans le même sens à l'avenir. Toutefois, la poursuite de la progression de plusieurs espèces inféodées à l'étage subalpin est très probable (VITTOZ & al. 2011). En plus du fait que l'edelweiss est en régression à l'Arpalle, sa floraison accuse une baisse significativement plus forte dans les exclos que dans les témoins. Malgré ces tendances, aucune corrélation significative n'a pu être décelée entre les variations de la floraison de l'edelweiss et les variations de l'abondance des Asteraceae, des Fabaceae, des Cyperaceae et des Poaceae, y compris de la séslierie considérée seule. Ces résultats n'excluent pas que la diminution de l'edelweiss ne soit pas due à l'augmentation de la compétition, compte tenu son besoin en lumière (ISCHER & al. 2014), mais le lien ne semble pas possible avec les données disponibles. Par contre, il est difficile d'exclure toutes relations entre la forte diminution de certaines espèces (*Myosotis alpestris*, *Hedysarum hedysaroides*, voire *Carex sempervirens*) dans les placettes du groupe I à l'Arpalle et la forte augmentation de la séslierie dans ce même groupe. L'expérience a été menée jusqu'en 2013 et les parcelles ne sont plus clôturées depuis cette date. L'installation d'un exclos, nécessaire à ce genre d'étude, pourrait n'être pas profitable aux espèces qui ont besoin d'un milieu ouvert pour se multiplier. L'absence de gros herbivores, tels que les

moutons, influence certainement le développement de la végétation et il est difficile d'imaginer comment pourraient évoluer à long terme nos pelouses alpines en l'absence de cerfs et de chamois. Des expériences ont été réalisées mais elles montrent des résultats parfois contradictoires. **MAYER & al. (2009)** en Autriche ont observé après sept ans d'exclusion des moutons et chèvres dans des pelouses acides de l'étage alpin une augmentation des graminées, comme *Agrostis capillaris* et *Anthoxanthum alpinum*, mais une diminution des espèces à faible valeur nutritive, constatant que ces espèces profitent des trous laissés par le bétail dans le couvert végétal. **DUPRÉ & DIEKMANN (2001)** ont également observé une augmentation des graminées et une diminution des petites *Fabaceae* après exclusion de la pâture. Toutefois, **DELÉGLISE & al. (2011)** observèrent après 20 ans d'exclusion une diminution des graminées et une augmentation des *Fabaceae* et plantes à rosettes dans des pelouses calcaires subalpines. Mais des réactions inverses ont été observées dans des pelouses acides. Dans le contexte de l'étude il reste possible qu'une pâture très modérée, comme celle régnant au site d'étude de l'Arpalle, puisse avoir un effet bénéfique pour l'edelweiss. En effet, la séslerie a plus progressé dans l'exclos, la floraison de plusieurs espèces a diminué, en particulier celle de l'edelweiss qui montre une diminution plus nette dans les surfaces qui n'étaient plus pâturées. Inversement à la Dotse, le retrait du troupeau, après la période de pâture relativement intense qui a dû régner au sommet pendant une petite décennie, aurait eu aussi un effet bénéfique. Comme dit le dicton: trop ou trop peu gâte tous les jeux!

A ce stade, il est impossible d'expliquer les changements en partie contradictoires observés pour l'edelweiss dans les placettes témoins (augmentation à la Dotse et baisse à l'Arpalle). Divers facteurs sont peut-être en cause, et des données étalées sur une plus longue période seraient nécessaires pour établir si ces tendances se maintiennent ou si elles appartiennent à des fluctuations cycliques étalées

sur plusieurs années. De même, seule une étude plus longue, avec plus de sites, ou au moins des sites plus proches quant à leur historique d'utilisation, permettrait d'avoir des conclusions fermes sur l'influence de la pâture des moutons sur l'edelweiss.

Bien que l'indice de Landolt pour la température ne montre une différence significative qu'à l'Arpalle, une influence du réchauffement climatique ne peut pas être exclue: plusieurs espèces des landes ont été nouvellement observées dans les placettes (*Arctostaphylos uva-ursi*, *Rhododendron ferrugineum*) ou progressent (*Vaccinium vitis-idaea*), et la séslerie est une espèce qui possède une amplitude altitudinale beaucoup plus large que l'edelweiss. Ce développement des espèces de landes, et plus largement d'espèces forestières, a déjà plusieurs fois été observé en relation avec le réchauffement climatique à l'étage alpin (par ex. **DULLINGER & al. 2003**, **VITTOZ & al. 2008**) et des études précédentes ont déjà pu prouver une influence de ce réchauffement sur des périodes très courtes (par ex. **PAULI & al. 2012**). Curieusement l'indice de continentalité a augmenté à l'Arpalle alors qu'il a baissé à la Dotse, ce qui suggère des variations du régime des vents, ou des résultats par hasard significatifs.

Aux questions posées par **KELLER & VITTOZ (2010)**, on peut maintenant répondre:

- Pose momentanée et malencontreuse, durant deux ou trois semaines, en 2008, d'un parc à moutons dans la partie est de la zone témoin de la Dotse (sur les placettes 37 à 40 du groupe 4): sans conséquence sur la végétation observée en 2013, en particulier il n'y a eu aucun effet sur l'abondance de *Pulsatilla vernalis*, fréquente dans ce secteur.
- Sente créée par le troupeau dans la partie aval de la zone témoin de l'Arpalle: baisse de l'abondance des rosettes d'edelweiss.

- Observation de nouvelles colonies : une petite proportion de l'apparition de nouvelles rosettes (de l'ordre de 5 à 10 % annuellement) est assurée par voie sexuée mais la très grande majorité des nouvelles colonies provient de la ramification sympodiale des rhizomes enfouis à faible profondeur (KELLER & VITTOZ, soumis).
- Très forte augmentation en 2009 (+45 % par rapport à 2008) des tiges fleuries dans le témoin de l'Arpalle : le nombre de capitules chute drastiquement en 2010, puis remonte fortement en 2011-2012 et enfin baisse en 2013 (**Fig. 6**). Plutôt que l'effet présumé de la nouvelle sente tracée par les moutons, ce comportement pourrait bien être attribué au comportement alternant de la floraison de l'edelweiss (KELLER, soumis).

Changements climatiques et pâture des moutons semblent influencer la dynamique actuelle des pelouses alpines dans le Val Ferret. Cette dernière est souvent vue négativement pour la flore, bien que les études précises manquent à ce sujet en Suisse, et que certains résultats tendent à montrer que, bien équilibrée, elle peut aussi être bénéfique à certaines espèces de l'état alpin. Il est en tout cas certain que les moutons utilisent les surfaces de manière très hétérogène, fertilisant et broutant excessivement certains secteurs et négligeant d'autres. La subdivision d'un alpage en parcs, tels qu'encouragés par la nouvelle ordonnance sur l'estivage des ovins (OPD 2013), qui permet une augmentation des contributions d'estivages (AGRIDEA 2014), peut aussi avoir des conséquences négatives en augmentant localement et momentanément la charge en bétail. Tout changement de gestion dans les alpages du Val Ferret devrait donc se faire avec prudence et elle ne devrait pas amplifier les effets néfastes déjà causés par les brusques changements climatiques. En l'absence de clôtures, un troupeau ne devrait occuper qu'un alpage suffisamment grand qui comprenne à la fois des zones naturellement attractives pour les moutons (combes et dépressions où l'herbe reste fraîche) et des zones plus sèches ou plus exposées aux vents.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement la Fondation du Dr Ignace Mariétan, la commune d'Orsières et le Service des Forêts et du Paysage du canton du Valais pour le soutien apporté à cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

- AGRIDEA 2014. *Contributions et paiements directs à partir du 1^{er} janvier 2014*. Focus AP-PA-Politique agricole 2014-2017. www.focus-ap-pa.ch.
- BURRI, M. & C. MARRO 1993. Atlas géologique de la Suisse-Feuille 1345 Orsières. Service hydrologique et géologique national.
- DAGNELIE, P. 1975. *Théorie et méthodes statistiques*, vol. 2. 2^e éd. Presses Agronomiques de Gembloux.
- DELARZE, R. & Y. GONSETH 2008. *Guide des milieux naturels de Suisse*. Rossolis, Bussigny. 424 pp.
- DELÉGLISE, C., G. LOUCOGARAY & D. ALARD 2011. Spatial patterns of species and plant traits in response to 20 years of grazing exclusion in subalpine grassland communities. *Journal of Vegetation Science* 22: 402-413.
- DULLINGER, S., T. DIRNBÖCK & G. GRABHERR 2003. Patterns of shrub invasion into high mountain grasslands of the Northern Calcareous Alps, Austria. *Arctic Antarctic and Alpine Research* 35: 434-441.
- DUPRÉ, C. & M. DIEKMANN 2001. Differences in species richness and life-history traits between grazed and abandoned grasslands in southern Sweden. *Ecography* 24: 275-286.
- FSO 2010. *Agriculture Suisse-Statistique de poche 2010*. Office fédéral de la statistique, Bern.
- ISCHER, M., A. DUBUIS, R. KELLER & P. VITTOZ 2014. A better understanding of ecological conditions for *Leontopodium alpinum* Cassini in the Swiss Alps. *Folia Geobotanica*.
- KELLER, R. 2012. *Monitoring de l'edelweiss au Val Ferret*. Rapport d'étude (2007-2011). Service des Forêts et du Paysage du canton du Valais.
- KELLER, R. 2013. *Evolution de la végétation et des populations d'edelweiss de 2008 à 2013 de deux pelouses alpines au*

- Val Ferret. Service des Forêts et du Paysage du canton du Valais.
- KELLER, R. (soumis). Alternance de la floraison de l'edelweiss (*Leontopodium alpinum*) à la Tour d'Anzeindaz (Alpes vaudoises). *Bull. Cercle Vaudois de Bot* 43.
- KELLER, R. & P. VITTOZ 2010. Premiers résultats d'un suivi de l'Edelweiss (*Leontopodium alpinum* Cass.) dans le Val Ferret (Valais). *Bull. Murithienne* 127/2009: 29-44.
- KELLER, R. & P. VITTOZ (soumis). Clonal growth and population demography of a subordinate alpine plant: *Leontopodium alpinum* Cassini. *Alpine Botany*.
- KUDERNATSCH, T., S. BECK, M. KRENZER, A. FISCHER, M. BERNHARDT, H. FRANZ, M. VOGEL & C. ABS 2005. Recent changes in species composition and species richness of alpine grasslands in Berchtesgaden Biosphere Reserve and National Park. *2nd and 3rd GLOCHAMORE workshops* (ed. M. R. Initiative), pp. 103-115. UNESCO, Paris, France, L'Aquila (Italy) and Granada (Spain).
- LANDOLT, E. 1977. Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. *Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel Zürich* 64: 1-208.
- LANDOLT, E., B. BÄUMLER, O. HEGG, W. LÄMMLER, M. NOBIS, K. RUDMANN-MAURER, F. H. SCHWEINGRUBER, J.-P. THEURILLAT, E. URM, M. VUST & T. WOHLGEMUTH 2010. *Flora Indicativa-Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen*. Haupt, Berne.
- LAUBER, K. & G. WAGNER 2007. *Flora Helvetica*. 3e éd. française. Haupt, Berne. 1616 pp.
- LEGENDRE, P. & L. LEGENDRE 1998. *Numerical Ecology* (2nd ed.). Elsevier.
- MAYER, R., R. KAUFMANN, K. VORHAUSER & B. ERSCHBAMER 2009. Effects of grazing exclusion on species composition in high-altitude grasslands of the Central Alps. *Basic and Applied Ecology* 10: 447-455.
- OPD 2013. *Ordonnance sur les paiements directs versés dans l'agriculture*. Le Conseil fédéral suisse, loi du 23 octobre 2013.
- OULIANOFF, N. & R. TRÜMPY 1958. *Atlas géologique de la Suisse-Feuille 1365 Grand Saint-Bernard*. Commission géologique suisse.
- PAULI, H., M. GOTTFRIED, S. DULLINGER, O. ABDALADZE, M. AKHALKATSI, J. L. B. ALONSO, G. COLDEA, J. DICK, B. ERSCHBAMER, R. FERNÁNDEZ CALZADO, D. GHOSH, J. I. HOLTEN, R. KANKA, G. KAZAKIS, J. KOLLÁR, P. LARSSON, P. MOISEEV, D. MOISEEV, U. MOLAU, J. M. MESA, L. NAGY, G. PELINO, M. PUSCAS, G. ROSSI, A. STANISCI, A. O. SYVERHUSET, J.-P. THEURILLAT, M. TOMASELLI, P. UNTERLUGGAUER, L. VILLAR, P. VITTOZ & G. GRABHERR 2012. Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. *Science* 336: 353-355.
- R Development Core Team 2009. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- REY, C., S. REY, C. BAROFFIO, J. F. VOULLAMOZ & D. ROGUET 2011. *Edelweiss, reine des fleurs*. Ed. du Belvédère, Fleurier.
- SALA, O., E. CHAPIN, F. S. ARMESTO, E. BERLOW, J. BLOOMFIELD, R. DIRZO, E. HUBER-SANWALD, L. F. HUENNEKE, R. B. JACKSON, A. KINZIG, R. LEEMANS, D. M. LODGE, H. A. MOONEY, M. OESTERHELD, N. L. POFF, M. T. SYKES, B. H. WALKER, M. WALKER & D. H. WALL 2000. Biodiversity-Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770-1774.
- THEURILLAT, J.-P. & A. GUISAN 2001. Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: A review. *Climatic Change* 50: 77-109.
- VITTOZ, P., S. JUTZELER & A. GUISAN 2006. Flore alpine et réchauffement climatique: observation de trois sommets valaisans à travers le XX^e siècle. *Bull. Murithienne* 123/2005: 49-59.
- VITTOZ, P., J. BODIN, S. UNGRICH, C. BURGA & G. R. WALTHER 2008. One century of vegetation change on Isla Persa, a nunatak in the Bernina massif in the Swiss Alps. *Journal of Vegetation Science* 19: 671-680.
- VITTOZ, P., N. DUSSEX, J. WASSEF & A. GUISAN 2009a. Diaspore traits discriminate good from weak colonisers on high-elevation summits. *Basic and Applied Ecology* 10: 508-515.

- VITTOZ, P., C. F. RANDIN, A. DUTOIT, F. BONNET & O. HEGG 2009b. Low impact of climate change on subalpine grasslands in the Swiss Northern Alps. *Global Change Biology* 15: 209 - 220.
- WALTHER, G.-R., S. BEISSNER & C.A. BURGA 2005. Trends in the upward shift of alpine plants. *Journal of Vegetation Science* 16: 541 - 548.
- ZAPPELLAZ, A. 2003. *Analyse de gestion d'un alpage ovin gardiennée en permanence par un berger*. Travail de diplôme, Haute école suisse d'agronomie, Zollikofen.

	Arpalle							Dotse					
	AST	CYP	FAB	POA	SES	autres		AST	CYP	FAB	POA	SES	autres
AST	1	-0.140	-0.176	0.081	-0.416	0.068		1	-0.133	-0.246	-0.224	-0.096	0.138
CYP		1	0.025	-0.296	0.100	-0.665			1	-0.246	0.029	-0.472	-0.382
FAB			1	-0.033	-0.145	-0.574				1	0.231	0.177	-0.028
POA				1	-0.514	0.098					1	-0.452	-0.260
SES					1	-0.152						1	-0.320
autres						1							1

ANNEXE 1

Matrices de corrélations entre groupes (familles) d'espèces.
 AST: Asteraceae; FAB: Fabaceae; POA: Poaceae sans Sesleria;
 CYP: Cyperaceae (*Elyna* et *Carex sempervirens*); SES: *Sesleria caerulea*; autres: autres espèces. En gras, corrélations entre *Sesleria* et autres Poaceae.

N° placette	Arpalle	N° placette	Dotse
1	-0.828	1	0.121
2	-0.512	2	-0.564
6	-0.305	3	-0.523
7	-0.523	4	0.000
8	-0.594	5	-0.054
9	-0.393	6	-0.207
10	0.064	7	-0.272
15	-0.585	8	-0.655
18	0.254	10	-0.357
19	-0.192	11	0.272
20	-0.655	13	0.071
21	0.655	14	0.064
22	-0.621	17	-0.423
23	-0.207	21	0.412
25	0.023	22	-0.391
27	-0.655	23	0.270
21	0.781	24	0.725
33	-0.199	25	0.327
34	0.352	26	-0.272
35	0.563	27	-0.136
28	0.186	28	-0.146
39	0.688	29	-0.229
40	0.662		

ANNEXE 2

Pentes des régressions du nombre d'inflorescences d'edelweiss par rapport à l'année pour chaque placette.
 Remarque: ne figurent que les placettes où il a existé, en 2008 et/ou en 2013, des edelweiss.